蛋氨酸限制与补偿对羔羊生长性能及内脏器官发育的影响

王　杰　崔　凯　毕研亮　柴建民　祁敏丽　张　帆　王世琴　刁其玉　张乃锋*

（中国农业科学院饲料研究所，农业部饲料生物技术重点开放实验室，北京 100081）

摘　要：本试验旨在研究蛋氨酸限制与补偿对羔羊生长性能及内脏器官发育的影响。选取12 对 1 周龄断奶的湖羊双胞胎公羔羊，采用配对试验设计，每对双胞胎羔羊分别分到 2 组中。第 1 阶段，2～8 周龄，分别补充[基础代乳粉+0.70%蛋氨酸，基础开食料+0.40%蛋氨酸，对照（control，CON）组]和限制蛋氨酸[基础代乳粉，基础开食料，限制（restriction，RES）组]；第 2 阶段，9～12 周龄，2 组羔羊饲喂相同的饲粮（基础开食料+0.40%蛋氨酸）。在 8 周龄末和 12 周龄末，各选取 6 对双胞胎羔羊进行屠宰，分离内脏器官并称重。结果表明：1）8 周龄，RES 组的体重显著低于 CON 组（*P*<0.05）；2～8 周龄，RES 组平均日增重极显著低于 CON 组（*P*<0.01），而 RES 组料重比显著高于 CON 组（*P*<0.05）；9～12 周龄，2 组平均日增重和料重比均无显著差异（*P*>0.05）。2）8 周龄，RES 组的宰前活重、空体重、胴体重均显著低于 CON 组（*P*<0.05），但 2 组间的屠宰率无显著差异（*P*>0.05）；12 周龄，RES 组和 CON 组宰前活重、空体重、胴体重、屠宰率均无显著差异（*P*>0.05）。3）8 周龄和 12 周龄，2 组的各内脏器官在重量、占宰前活重比例均无显著差异（*P*>0.05）。4）8 周龄，RES 组的瘤胃重量显著低于 CON 组（*P*<0.05），其余各胃肠道指数均无显著差异（*P*>0.05）；12 周龄，2 组间各胃肠道指数也无显著差异（*P*>0.05）。由此可见，限制饲粮蛋氨酸水平降低了羔羊瘤胃重量、生长性能和屠宰性能，恢复饲粮蛋氨酸水平后，羔羊生长性能及内脏器官发育状况也随之恢复。

关键词：羔羊；蛋氨酸限制；蛋氨酸补偿；生长性能；内脏器官发育

中图分类号：S826

必需氨基酸是指动物机体本身不能合成，必须通过从饲粮中摄取以满足机体需要的一类氨基酸。蛋氨酸作为必需氨基酸中唯一的含硫氨基酸，与赖氨酸一起形成玉米-豆粕型饲粮或微生物蛋白合成的第一或第二限制性氨基酸[1-3]。随着我国羔羊早期断奶技术的推广应用，

收稿日期：2016-05-16

基金项目：国家公益性行业（农业）科研专项（201303143）；国家肉羊产业技术体系建设专项（CARS-39）

作者简介：王　杰（1989-），男，山东临沂人，硕士研究生，研究方向为动物营养与饲料科学。E-mail：nkywangjie@163.com

*通信作者：张乃锋，副研究员，硕士生导师，E-mail: zhangnaifeng@caas.cn

代乳粉的应用越来越广泛，含有植物蛋白质（尤其是豆类原料）的代乳粉中蛋氨酸往往成为第一限制性氨基酸[4-5]。如果羔羊机体蛋氨酸缺乏或达不到营养需要，就会影响其正常生命代谢，甚至导致各种疾病的发生。

蛋氨酸作为饲料添加剂能够提高动物机体的生产性能、增强免疫力及预防疾病等[6-8]。El-Tahawy 等[9]研究发现，饲粮中添加 0.33％蛋氨酸能显著提高羔羊的生产性能和增加经济收益。Abdelrahman 等[10]研究报道，饲粮中补充蛋氨酸不仅提高了羔羊对矿物质的生物利用率，还能增加羔羊的生长性能。然而，Obeidat 等[11]研究发现，饲粮中补充蛋氨酸对羔羊采食量、营养物质消化率及生长性能的影响不显著。同样，Hussein 等[12]研究发现，饲粮中补充蛋氨酸不能提高犊牛的平均日增重。这些结果的差异可能与蛋氨酸的用量或羔羊日龄、饲养管理的差异性等因素有关，具体原因还有待于进一步研究证实。另外，内脏器官发育状况对于动物生长发育和新陈代谢具有重要作用，虽然内脏器官仅占到总体重的 6%～10%，但却占有机体总蛋白质合成和氧消耗的 40％～50%[13-14]。因此，理论上饲粮蛋氨酸水平限制可能会影响羔羊内脏器官的发育进而影响生长性能，但还缺乏试验验证；同时，饲粮蛋氨酸限制取消后，羔羊内脏器官及生长的发育是否能得到恢复或补偿，还有待进一步研究。因此，本试验从生长性能及内脏器官发育角度，研究饲粮蛋氨酸限制与补偿对湖羊双胞胎断奶羔羊的影响，为羔羊营养参数研究和合理科学饲养提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　试验时间和地点

试验于 2015 年 9 月 25 日至 2015 年 12 月 24 日在山东省临清市润林牧业有限公司开展。

1.2　试验设计

试验选取初始体重为（4.93±0.20） kg、发育正常的 12 对新生湖羊双胞胎公羔羊。所有试验羔羊在出生到 1 周龄随母哺乳；1 周龄后断母乳，人工饲喂代乳粉至 8 周龄；从 2 周龄开始补饲开食料，直到 12 周龄试验结束。

试验采用配对设计，分为 2 阶段。第 1 阶段，2～8 周龄，分别补充[基础代乳粉+0.70%蛋氨酸，基础开食料+0.40%蛋氨酸，对照（control，CON）组]和限制蛋氨酸[基础代乳粉，基础开食料，限制（restriction，RES）组]；第 2 阶段，9～12 周龄，2 组羔羊饲喂相同的饲粮（基础开食料+0.40%蛋氨酸）。

1.3　试验饲粮

试验用蛋氨酸规格：*DL*-蛋氨酸含量≥；干燥减重≤；砷≤；重金属≤；硫酸盐≤；氯化物≤；灼烧残渣≤；亚硝基铁氰化钠试验合格；硫酸铜试验合格。

批注 [W1]: 待作者补充

CON 组代乳粉中蛋氨酸水平设定参考我国发明专利 ZL 02128844.5[15]；开食料中蛋氨酸水平根据 Mirand 等[16]报道设定。基础代乳粉营养水平见表 1，基础开食料组成及营养水平分别见表 2。

表 1　基础代乳粉营养水平（干物质基础）

Table 1　Nutrient levels of the basal milk replacer (DM basis)　　%

营养水平 Nutrient levels	含量 Content
干物质 DM	95.69
代谢能 ME/(MJ/Kg)	15.10
粗蛋白质 CP	21.66
粗脂肪 EE	6.44
粗灰分 Ash	5.88
钙 Ca	1.02
总磷 TP	0.51
赖氨酸 Lys	2.77
蛋氨酸 Met	0.21
色氨酸 Try	0.29
苏氨酸 Thr	1.17

由于涉及专利申请，未列出代乳粉组成。Due to patent application, composition of milk replacer was not given.

表 2　基础开食料组成及营养水平（干物质基础）

Table 2　Composition and nutrient levels of the basal starter (DM basis)　　%

原料 Ingredients	含量 Content	营养水平 Nutrient levels3)	含量 Content
玉米 Corn	63.93	干物质 DM	88.20
麸皮 Wheat bran	15.00	粗蛋白质 CP	16.16
豆粕 Soybean meal	6.79	粗脂肪 EE	4.68
石粉 Limestone	2.34	粗灰分 Ash	9.38
脂肪粉 Fat powder	2.00	钙 Ca	1.23
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.48	总磷 TP	0.54
食盐 NaCl	0.93	代谢能 ME/(MJ/Kg)	10.75
复合氨基酸 Compound amino acids1)	6.53	赖氨酸 Lys	1.01
预混料 Premix2)	1.00	蛋氨酸 Met	0.20
合计 Total	100.00	色氨酸 Try	0.18
		苏氨酸 Thr	0.60

1)复合氨基酸是由赖氨酸、色氨酸、苏氨酸、缬氨酸、组氨酸等多种氨基酸组成。Compound amino acids

were composed of Lys, Try, Thr, Val, His and other amino acids.

2)每千克预混料含有 One kg of premix contained the following：Fe 4~30 g，Mn 2~25 g，Cu 0.8~2 g，Zn 4~25 g，Se 0.04~0.3 g，I 0.04~0.5 g，Co 0.03~0.05 g，VA 800 000~2 500 000 IU，VD_3 200 000~400 000 IU，VE≥3 000 IU。

3)营养水平除代谢能外均为实测值。ME was a calculated value, while others were measured values.

1.4　饲养管理

试验正式开始之前，用强力消毒灵溶液对整个圈舍进行全面的消毒，之后每周对所有栏位重复消毒 1 次。同时，试验开始时所有试验羔羊均进行正常的免疫程序。

试验羔羊在 1 周龄时断母乳，开始饲喂代乳粉。2 周龄每天饲喂 4 次，3～4 周龄每天饲喂 3 次，5～8 周龄每天饲喂 2 次。代乳粉的饲喂方法参照王波等[17]报道的方法进行。同时，饲喂量根据试验过程中羔羊的健康状况进行适当的调整，以保证羔羊的正常生长。另外，除了每天按要求进行饲喂外，还需保证 CON 组和 RES 组羔羊补饲相近量的代乳粉，同时整个过程自由饮水。

1.5　测定指标和方法及样品采集

1.5.1　饲粮营养水平

代乳粉和开食料中营养水平测定方法：氨基酸含量使用 A300 全自动氨基酸分析仪测定；代谢能使用 Parr-6400 氧氮量热仪测定；干物质、粗蛋白质、粗脂肪、粗灰分、钙、磷含量参考《饲料分析及饲料质量检测技术》[18]测定。

1.5.2　生长性能

体重：准确称量并记录羔羊的 1 周龄末、8 周龄末和 12 周龄末晨饲前体重，计算平均日增重。

采食量：开食料每天准确记录饲喂量和剩料量，用以计算羔羊的采食量；同时，饲喂量根据试验过程中羔羊的健康状况进行适当的调整，以准确记录代乳粉的饲喂量。

料重比：根据平均日增重及采食量计算各阶段的料重比。

1.5.3　器官指数及屠宰性能

器官指数：分别在 8 周龄末和 12 周龄末屠宰 6 对双胞胎羔羊，CON 组和 RES 组各 6 只，屠宰前 16 h 需要禁食、禁水[19]，屠宰当日 08:00 称宰前活重(live weight before

slaughter,LWBS)。试验羊经二氧化碳致晕后，颈静脉放血致死。之后剥皮，去头、蹄、内脏后称量胴体重。分离内脏，称量心脏、肝脏、脾脏、肺脏、肾脏、小肠及大肠重并计算各器官占宰前活重比例；分离瘤胃、网胃、瓣胃及皱胃并称重，计算每个胃占宰前活重比例及占复胃总重(total stomachus compositus weight,TCSW)比例，准确记录相关的数据。

相关指标计算公式：

空体重(empty body weight,EBW,kg)=宰前活重－胃肠道内容物总重；

胴体重(carcass weight,CW,kg)=宰前活重－皮毛、头、蹄、生殖器官及周围脂肪、内脏（保留肾脏及周围脂肪）的重量；

屠宰率(dressing percentage,％)=100×胴体重/宰前活重[20]。

1.6　数据处理

试验数据经过 Excel 2010 初步整理后，使用 SAS 9.2 统计软件 Paired *t*-test 进行配对 *t* 检验，P<0.05 为差异显著，P<0.01 为差异极显著。

2　结果与分析

2.1　蛋氨酸限制与补偿对羔羊生长性能的影响

蛋氨酸限制与补偿对羔羊生长性能的影响见表 3。CON 组和 RES 组羔羊 1 周龄体重差异不显著（P>0.05），而 8 周龄 RES 组体重显著低于 CON 组（P<0.05），但 12 周龄 2 组体重差异不显著（P>0.05）。2～8 周龄，RES 组平均日增重极显著低于 CON 组（P<0.01），同时 RES 组料重比显著高于 CON（P<0.05）。在 9～12 周龄和 2～12 周龄 2 阶段，CON 组和 RES 组的平均日增重和料重比差异均不显著（P>0.05）。

表 3　蛋氨酸限制与补偿对羔羊生长性能的影响

Table 3　Effects of methionine restriction and compensation on growth performance of lambs

项目 Items	组别 Groups		SEM	*P* 值 *P*-value
	CON	RES		
体重 Body weight/kg				
1 周龄 1 week of age	4.93	4.93	0.20	0.984 0
8 周龄 8 weeks of age	9.82[a]	8.31[b]	0.54	0.017 1
12 周龄 12 weeks of age	15.41	13.57	1.48	0.268 8
代乳粉采食量 Milk replacer intake/(g/d)				
2～8 周龄 2 to 8 weeks of age	137.07	137.07		
开食料采食量 Starter intake/(g/d)				
2～8 周龄 2 to 8 weeks of age	104.72	110.49	2.66	0.053 2
9～12 周龄 9 to 12 weeks of age	590.82	608.46	9.94	0.136 1

2～12 周龄 2 to 12 weeks of age	278.80	276.46	5.70	0.698 2
平均日增重 Average daily gain/（g/d）				
2～8 周龄 2 to 8 weeks of age	103.99[a]	72.07[b]	8.60	0.003 4
9～12 周龄 9 to 12 weeks of age	196.43	184.52	22.91	0.625 4
2～12 周龄 2 to 12 weeks of age	110.67	117.56	11.63	0.579 5
料重比 F/G				
2～8 周龄 2 to 8 weeks of age	2.67[b]	4.27[a]	0.56	0.015 9
9～12 周龄 9 to 12 weeks of age	3.55	3.45	0.54	0.854 4
2～12 周龄 2 to 12 weeks of age	3.06	3.31	0.41	0.564 9

同行数据肩标不同小写字母代表有显著差异（P<0.05）。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05). The same as below.

2.2 蛋氨酸限制与补偿对羔羊屠宰性能的影响

蛋氨酸限制与补偿对羔羊屠宰性能的影响见表 4。8 周龄，CON 组羔羊的宰前活重、空体重和胴体重均显著高于 RES 组（P<0.05），但是 2 组的屠宰率差异不显著（P>0.05）。12 周龄，2 组羔羊的宰前活重、空体重、胴体重和屠宰率均差异不显著（P>0.05）。

表 4 蛋氨酸限制与补偿对羔羊屠宰性能的影响

Table 4 Effects of methionine restriction and compensation on slaughter performance of lambs

项目 Items	组别 Groups		SEM	*P* 值
	CON	RES		*P*-value
8 周龄 8 weeks of age				
宰前活重 LWBS/kg	9.73[a]	8.23[b]	0.53	0.037 7
空体重 EBW/kg	7.77[a]	6.44[b]	0.43	0.027 4
胴体重 CW/kg	4.29[a]	3.50[b]	0.23	0.019 2
屠宰率 Dressing percentage/%	43.94	42.42	0.71	0.083 7
12 周龄 12 weeks of age				
宰前活重 LWBS/kg	15.41	13.57	1.48	0.268 8
空体重 EBW/kg	11.87	10.09	1.29	0.228 8
胴体重 CW/kg	6.81	5.83	0.87	0.310 3
屠宰率 Dressing percentage/%	43.61	42.68	1.52	0.566 5

2.3 蛋氨酸限制与补偿对羔羊内脏器官指数的影响

蛋氨酸限制与补偿对羔羊内脏器官指数的影响见表 5。8 周龄和 12 周龄，CON 组和 RES 组羔羊内脏器官指数均差异不显著（P>0.05）。

表 5 蛋氨酸限制与补偿对羔羊内脏器官指数的影响

Table 5 Effects of methionine restriction and compensation on internal organ indexes of lambs

项目 Items	组别 Groups	SEM	*P* 值

		CON	RES		*P*-value
重量 Weight/g					
8 周龄 8 weeks of age	心脏 Heart	51.40	46.65	3.03	0.177 5
	肝脏 Liver	193.13	168.37	13.36	0.123 1
	脾脏 Spleen	14.17	13.10	1.87	0.593 0
	肺脏 Lung	148.43	154.95	28.37	0.827 4
	肾脏 Kidney	44.05	44.23	5.29	0.973 7
12 周龄 12 weeks of age	心脏 Heart	75.32	69.27	9.89	0.567 3
	肝脏 Liver	403.63	344.00	40.55	0.201 4
	脾脏 Spleen	21.72	18.48	2.16	0.194 5
	肺脏 Lung	215.67	224.45	27.52	0.762 5
	肾脏 Kidney	60.37	54.93	4.46	0.277 2
占宰前活重比例 Percentage of LWBS/%					
8 周龄 8 weeks of age	心脏 Heart	0.53	0.58	0.03	0.205 9
	肝脏 Liver	1.97	2.06	0.09	0.359 5
	脾脏 Spleen	0.14	0.16	0.02	0.543 0
	肺脏 Lung	1.52	1.91	0.36	0.330 0
	肾脏 Kidney	0.46	0.55	0.05	0.162 8
12 周龄 12 weeks of age	心脏 Heart	0.50	0.54	0.09	0.688 7
	肝脏 Liver	2.60	2.53	0.13	0.624 4
	脾脏 Spleen	0.15	0.14	0.003	0.203 1
	肺脏 Lung	1.42	1.71	0.15	0.110 0
	肾脏 Kidney	0.40	0.41	0.07	0.598 2

2.4 蛋氨酸限制与补偿对羔羊胃肠道指数的影响

蛋氨酸限制与补偿对羔羊胃肠道指数的影响见表 6。8 周龄，CON 组羔羊的瘤胃重量显著高于 RES 组（P<0.05），2 组羔羊其他胃肠道指数上差异不显著（P>0.05）。12 周龄，2 组胃肠道指数均差异不显著（P>0.05）。

表 6 蛋氨酸限制与补偿对羔羊胃肠道指数的影响

Table 6 Effects of methionine restriction and compensation on gastrointestinal tract indexes of lambs

项目 Items		组别 Groups		SEM	*P* 值
		CON	RES		*P*-value
重量 Weight/g					
8 周龄 8 weeks of age	瘤胃 Rumen	196.33[a]	147.60[b]	18.26	0.044 4
	网胃 Reticulum	28.68	24.20	2.86	0.178 2
	瓣胃 Omasum	13.05	9.63	2.33	0.202 4
	皱胃 Abomasum	59.70	59.82	5.50	0.983 9
	小肠 Small intestine	340.03	291.58	36.67	0.243 7
	大肠 Large intestine	155.93	150.07	14.81	0.708 3
12 周龄 12 weeks of age	瘤胃 Rumen	407.60	360.5	52.48	0.416 2
	网胃 Reticulum	50.17	51.33	3.51	0.752 8
	瓣胃 Omasum	35.17	30.67	4.01	0.312 4

	皱胃 Abomasum	123.67	107.67	10.81	0.198 9
	小肠 Small intestine	459.17	441.85	27.29	0.553 6
	大肠 Large intestine	203.67	183.17	21.09	0.375 6
占复胃总重比例 Percentage of TCSW/%					
8 周龄 8 weeks of age	瘤胃 Rumen	65.35	59.72	3.07	0.126 0
	网胃 Reticulum	9.75	9.97	0.90	0.819 3
	瓣胃 Omasum	4.35	4.21	0.91	0.881 3
	皱胃 Abomasum	20.55	26.11	2.79	0.103 3
12 周龄 12 weeks of age	瘤胃 Rumen	65.62	65.77	2.26	0.949 6
	网胃 Reticulum	8.40	9.30	0.72	0.263 9
	瓣胃 Omasum	5.68	5.50	0.43	0.702 3
	皱胃 Abomasum	20.30	19.42	1.57	0.602 9
占宰前活重比例 Percentage of LWBS/%					
8 周龄 8 weeks of age	瘤胃 Rumen	1.98	1.76	0.19	0.291 3
	网胃 Reticulum	0.29	0.29	0.03	0.849 4
	瓣胃 Omasum	0.13	0.12	0.03	0.741 2
	皱胃 Abomasum	0.62	0.77	0.09	0.165 1
	小肠 Small intestine	3.52	3.59	0.30	0.844 5
	大肠 Large intestine	1.62	1.89	0.23	0.278 0
12 周龄 12 weeks of age	瘤胃 Rumen	2.66	2.71	0.19	0.821 2
	网胃 Reticulum	0.34	0.38	0.03	0.279 8
	瓣胃 Omasum	0.23	0.23	0.02	0.768 3
	皱胃 Abomasum	0.83	0.80	0.08	0.735 2
	小肠 Small intestine	3.02	3.30	0.26	0.322 5
	大肠 Large intestine	1.37	1.36	0.08	0.969 2

3 讨 论

3.1 蛋氨酸限制与补偿对羔羊生长性能的影响

由于早期断奶羔羊胃肠道发育不成熟，断母乳后的羔羊极易受到培育方式[21-23]、饲粮组成和环境因素的影响。所以，各营养素含量的均衡性是早期断奶羔羊进行新陈代谢的物质基础。而蛋氨酸作为动物生长过程中蛋白质合成的主要限制性氨基酸[1]，对于提高动物生长性能和饲粮中蛋白质利用率及降低氮排放具有重要作用。Goedeken 等[24]研究发现，反刍动物饲粮补充蛋氨酸可提高动物的生长性能和氮的有效利用率。Mata 等[25]报道，饲粮中每天添加 2.5 g 蛋氨酸可显著提高美利奴羊羔羊的生长性能，最终有利于羔羊后期的培育。然而，Wiese 等[26]研究发现饲粮中补充过瘤胃蛋氨酸对于美利奴羊的生长性能、饲粮转化率及胴体重的影响均差异不显著。造成不同的试验结果的原因可能在于试验羔羊的品种、饲粮组成和蛋氨酸水平不一致等。从前人研究发现，饲粮中补充蛋氨酸会影响到羔羊的生长性能。因此，我们推断饲粮蛋氨酸水平限制同样会影响羔羊的生长发育。同时，饲粮蛋氨酸限制取消后，

给予补偿充足的蛋氨酸，羔羊生长发育是否能得到恢复或补偿，还有待进一步研究。另外，单一补充或限制蛋氨酸水平对羔羊生长发育进行研究，这也将很难建立蛋氨酸前期限制与后期补偿对羔羊生长发育影响的内在联系。

本试验为了排除遗传因素对试验造成的差异，选择初始重相近的双胞胎公羔羊。同时，本试验基础饲粮中蛋氨酸水平通过人为控制在最低水平，以便研究蛋氨酸限制对早期断奶羔羊生长发育的影响。另外，补充蛋氨酸水平最大限度满足羔羊生长的营养需要，以便研究补充蛋氨酸对早期断奶羔羊生长性能的补偿程度。本试验中，8 周龄，RES 组羔羊的体重显著低于 CON 组羔羊。在 9～12 周龄阶段，RES 组蛋氨酸补偿后，12 周龄 2 组的体重差异不显著。这说明蛋氨酸限制对羔羊前期生长有抑制作用，通过补充蛋氨酸后羔羊体重有一定的补偿作用。同样，刘小刚[27]通过研究饲粮不同能氮营养水平营养限制及补偿对羔羊生长发育的影响，结果发现，营养水平限制后通过营养补偿对羔羊生长有一定程度恢复。另外，本试验中在 2 组羔羊饲喂量保持相近水平的条件下，2～8 周龄阶段的 CON 组羔羊平均日增重极显著高于 RES 组，进一步说明蛋氨酸限制对早期断奶羔羊的平均日增重有抑制作用。2～8 周龄阶段，CON 组处于蛋氨酸限制状态，其料重比显著高于 CON 组，而补充蛋氨酸后，2 组料重比差异不显著。说明蛋氨酸限制不利于羔羊的消化吸收，补充蛋氨酸后 2 组羔羊对饲粮的消化利用率差异不显著。结果提示，蛋氨酸限制降低了早期断奶湖羊羔羊平均日增重，抑制其生长速度，不利于羔羊对饲粮的消化吸收。

3.2　蛋氨酸限制与补偿对羔羊屠宰性能的影响

在 8 周龄之前，RES 组羔羊处于蛋氨酸限制状态，从生长性能可以看出，断代乳粉时，RES 组的体重显著低于 CON 组，屠宰羔羊是随机选取的。本试验结果表明，除屠宰率外，RES 组其余屠宰指标（宰前活重、空体重和胴体重）均显著低于 CON 组，说明蛋氨酸限制不仅影响生长性能，还显著降低了屠宰性能，最终影响羔羊的产肉。而经过 4 周蛋氨酸补偿后，在 12 周龄，RES 组的屠宰性能与 CON 组之间差异不显著，这也与 12 周龄末的生长性能结果相对应，表明 8 周龄前代乳粉和开食料的蛋氨酸水平限制了羔羊屠宰性能，在 9～12 周龄阶段蛋氨酸补偿后，RES 组在营养恢复阶段其生长速率较快，缩小了与 CON 组屠宰性能之间的差距，这与 12 周龄屠宰时 2 组羔羊的体重状况相符。同样，Galvani 等[28]研究发现，早期断奶羔羊营养物质不足时，影响其后期的饲粮利用，并延迟达到屠宰体重的时间，而充

足的营养物质则可以较快地达到屠宰体重要求，并且能够提高经济效益和肉品质。进一步说明动物在营养限制期结束后，通过营养补偿会不同程度地恢复限制阶段失去的体重[29]。而Obeidat 等[11]通过饲粮中添加不同水平[0、7、14 g/（头·天）]蛋氨酸，研究对 Awassi 公羊生长性能、屠宰性能及肉品质的影响，结果发现，随着蛋氨酸水平的增加，蛋氨酸对羔羊的生长性能、屠宰性能和肉品质的影响不显著，这可能由于前期补充蛋氨酸的效果在试验的时间内还没有体现出来或者添加量还达不到 Awassi 公羊的最佳生长需要。

3.3　蛋氨酸限制与补偿对羔羊内脏器官指数的影响

内脏器官的发育情况是由营养状况和生理状况共同决定的，动物内脏器官重量和器官指数反应了动物机体的发育状况[19,30]。本试验中，8 周龄，CON 组和 RES 组在各内脏器官重量及占宰前活重比例上均差异不显著，这与本试验 2 组羔羊的体重状况不一致。这可能蛋氨酸限制对于羔羊生长抑制首先表现在机体的重量上，对于具体各内脏器官重量差异还没表现出来。在 9～12 周龄阶段蛋氨酸补偿后，2 组在各内脏器官指数上均差异不显著。同样，Atti 等[31]指出，营养限制及营养补偿对动物机体内脏器官影响不显著。而李东[32]曾报道，蒙古羔羊经过一段时间营养限制后，当营养水平恢复时，其内脏器官可以完全恢复正常。本试验研究结果与其不相符，因为动物的补偿生长不但受到营养限制开始时的日龄、营养限制的程度以及营养限制的持续时间影响，还受其品种、性别、遗传等方面的影响。因此，本试验中蛋氨酸水平前期限制及后期补偿对于羔羊各内脏器官指数影响均不显著。

3.4　蛋氨酸限制与补偿对羔羊胃肠道指数的影响

由于羔羊幼龄期各胃肠道发育还不健全，此时的营养水平对于胃肠道的发育至关重要。营养物质水平的变化不仅影响胃肠道的分化，还能对各胃室、肠道重量及相对比重产生较大影响[33]。本试验中，8 周龄末，RES 组羔羊比 CON 组显著地降低了瘤胃的重量。这可能由于 2～8 周龄阶段瘤胃还未发育成熟，并且 RES 组的蛋氨酸水平较低，因而不利于胃肠道的发育，造成胃肠道失重[34]。随着日龄的增加，在 12 周龄时羔羊对营养物质消化吸收主要通过瘤胃和小肠，RES 组蛋氨酸补偿后，2 组之间的胃肠道指数之间差异不显著。而刘小刚等[35]通过营养限制及补偿研究对羔羊小肠黏膜生长发育的影响，结果发现，前期营养限制对羔羊的小肠黏膜影响较大，通过补偿后期恢复速度较慢，进而降低其发育速度。本试验结果与其报道不相符，这可能由于本试验中 2 组饲粮中只有蛋氨酸水平不同，前期蛋氨酸限制对

羔羊瘤胃发育的抑制可以通过后期补偿得以恢复。

4　结　论

①2～8 周龄，蛋氨酸限制对双胞胎羔羊生长发育产生抑制作用，影响了羔羊的生长性能、屠宰性能。

②9～12 周龄，蛋氨酸补偿后，蛋氨酸限制的双胞胎羔羊在生长性能和内脏器官发育得到恢复。

参考文献：

[1]　STORM E,ORSKOV E R.The nutritive value of rumen micro-organisms in ruminants.4.the limiting amino acids of microbial protein in growing sheep determined by a new approach[J].The British Journal of Nutrition,1984,52(3):613–620.

[2]　BEQUETTE B J.Amino acid metabolism in farm animals:an overview[M]//D’MELLO J P F.Amino acids in farm animal nutrition.Wallingford:CAB International,.2003:1–10.

[3]　DILGER R N,BAKER D H.*DL*-methionine is as efficacious as *L*-methionine,but modest *L*-cystine excesses are anorexigenic in sulfur amino acid-deficient purified and practical-type diets fed to chicks[J].Poultry Science,2007,86(11):2367–2374.

[4]　SCHWAB C G,BOZAK C K,NOCEK J E.Change in amino acid pattern of soybean meal and corn gluten meal upon exposure to rumen fermentation[J].Journal of Animal Science,1986,63(S1):158–161.

[5]　张乃锋.蛋白质与氨基酸营养对早期断奶犊牛免疫相关指标的影响[D].博士学位论文.北京:中国农业科学院,2008.

[6]　CHENG Z J J,HARDY R W,USRY J L.Plant protein ingredients with lysine supplementation reduce dietary protein level in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets,and reduce ammonia nitrogen and soluble phosphorus excretion[J].Aquaculture,2003,218(1/2/3/4):553–565.

[7]　MATA G,MASTERS D G,BUSCALL D,et al.Responses in wool growth,liveweight,glutathione and amino acids,in merino wethers fed increasing amounts of methionine protected from degradation in the rumen[J].Australian Journal of Agricultural Research,1995,46(6):1189–1204.

[8] TSIAGBE V K,COOK M E,HARPER A E,et al.Enhanced immune responses in broiler chicks fed methionine-supplemented diets[J].Poultry Science,1987,66(7):1147–1154.

[9] EL-TAHAWY A S,ISMAEIL A M.Methionine-supplemented diet increases the general performance and value of Rahmani lambs[J].Iranian Journal of Applied Animal Science,2013,3(3):513–520.

[10] ABDELRAHMAN M M,HUNAITI D A.The effect of dietary yeast and protected methionine on performance and trace minerals status of growing Awassi lambs[J].Livestock Science,2008,115(2/3),235–241.

[11] OBEIDAT B S,ABDULLAH A Y,AWAWDEH M S,et al.Effect of methionine supplementation on performance and carcass characteristics of Awassi ram lambs fed finishing diets[J].Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,2008,21(6):831–837.

[12] HUSSEIN H S,BERGER L L.Feedlot performance and carcass characteristics of Holstein steers as affected by source of dietary protein and level of ruminally protected lysine and methionine[J].Journal of Animal Science,1995,73(12):3503–3509.

[13] CHILLIARD Y,BOCQUIER F,DOREAU M.Digestive and metabolic adaptations of ruminants to undernutrition,and consequences on reproduction[J].Reproduction Nutrition Development,1998,38(2):131–152.

[14] NOZIÈRE P,ATTAIX D,BOCQUIER F,et al.Effects of underfeeding and refeeding on weight and cellularity of splanchnic organs in ewes[J].Journal of Animal Science,1999,77(8):2279–2290.

[15] 刁其玉,屠焰.一种犊牛羔羊用代乳粉:中国,ZL 02128844.5[P].2004-05-12.

[16] MIRAND P P,THERIEZ M.Amino acid requirements of preruminant lambs[J].Annales de Zootechnie,1977,26 (2):287–287.

[17] 王波,柴建民,王海超,等.蛋白质水平对湖羊双胞胎公羔生长发育及肉品质的影响[J].动物营养学报,2015,27(9):2724–2735.

[18] 张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术[M].2 版.北京:中国农业大学出版社,2003.

[19] 许贵善,刁其玉,纪守坤,等.不同饲喂水平对肉用绵羊生长性能、屠宰性能及器官指数的

影响[J].动物营养学报,2012,24(5):953–960.

[20] 许贵善.20—35 kg 杜寒杂交羔羊能量与蛋白质需要量参数的研究[D].博士学位论文.北京:中国农业科学院,2013.

[21] 王海超,张乃锋,柴建民,等.人工哺育代乳粉对湖羊双胎羔羊生长发育、营养物质消化和血清学指标的影响[J].动物营养学报,2015,27(2):436–447.

[22] 柴建民,刁其玉,屠焰,等.早期断奶时间对湖羊羔羊组织器官发育、屠宰性能和肉品质的影响[J].动物营养学报,2014,26(7):1838–1847.

[23] NAPOLITANO F,CIFUNI G F,PACELLI C,et al.Effect of artificial rearing on lamb welfare and meat quality[J].Meat Science,2002,60(3):307–315.

[24] GOEDEKEN F K,KLOPFENSTEIN T J,STOCK R A,et al.Protein value of feather meal for ruminants as affected by blood additions[J].Journal of Animal Science,1990,68(9):2936–2944.

[25] MATA G,MASTERS D G,LIU S,et al.Responses to protected canola meal and methionine in grazing Merino weaners-Liveweight and wool[J].Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,2000,13,179.

[26] Wiese S C,White C L,Masters D G,et al.The growth performance and carcass attributes of Merino and Poll Dorset × merino lambs fed rumen-protected methionine(Smartamine^{TM}-M)[J].Australian Journal of Agricultural Research,2003,54(5):507–513.

[27] 刘小刚.营养限制及补偿对羔羊内脏器官和血液中 CD^{4+}、CD^{8+}T 淋巴细胞的影响[D].硕士学位论文.呼和浩特:内蒙古农业大学,2010.

[28] GALVANI D B,PIRES C C,HÜBNER C,et al.Growth performance and carcass traits of early-weaned lambs as affected by the nutritional regimen of lactating ewes[J].Small Ruminant Research,2014,120(1):1–5.

[29] HORNICK J L,VAN EENAEME C,GÉRARD O,et al.Mechanisms of reduced and compensatory growth[J].Domestic Animal Endocrinology,2000,19(2):121–132.

[30] 官丽辉,刘海斌,张立永,等.日粮不同能量水平对育成鸡体增质量、血液生化指标及内脏器官发育的影响[J].中国兽医学报,2014,34(2):350–356.

[31] ATTI N,SALEM H B.Compensatory growth and carcass composition of Barbarine lambs receiving different levels of feeding with partial replacement of the concentrate with feed blocks[J].Animal Feed Science and Technology,2008,147(1/2/3):265–277.

[32] 李东.蒙古羔羊补偿生长能力的研究[D].硕士学位论文.呼和浩特:内蒙古农业大学,2011.

[33] CHURCH D C.Digestive physiology[M].Corvallis:O & B Books,1975:350.

[34] BURRIN D G,FERRELL C L,BRITTON R A,et al.Level of nutrition and visceral organ size and metabolic activity in sheep[J].British Journal of Nutrition,1990,64(2):439–448.

[35] 刘小刚,李大彪,侯先志,等.营养限制及补偿对羔羊小肠黏膜生长发育的影响[J].中国农业科学,2011,44(17):3613–3621.

Effects of Dietary Methionine Restriction and Compensation on Growth Performance and Visceral Organ Development of Lambs

WANG Jie CUI Kai BI Yanliang CHAI Jianmin QI Minli ZHANG Fan WANG Shiqin DIAO Qiyu ZHANG Naifeng*

（*Feed Research Institute of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Feed Biotechnology of Ministry of Agriculture, Beijing* 100081, *China*）

Abstract: The aim of this study was to assess the effects of dietary methionine (Met) restriction and compensation on growth performance and visceral organ development of lambs. Twelve pairs of male *Hu* twin lambs weaned at one week of age were selected and divided into two groups with a matched-pairs design. During 2 to 8 weeks of age, lambs were fed diets containing either sufficient [basal milk replacer + 0.70% Met and basal starter + 0.40% Met, control（CON) group] or deficient Met [basal milk replacer and basal starter, restriction （RES) group]. During 9 to 12 weeks of age, all lambs were fed diets containing sufficient Met (basal starter + 0.40% Met). Six twins each time were slaughtered at the end of 8 and 12 weeks of age for weighting visceral organs, respectively. The results showed as follows: 1) body weight of 8-week-old lambs in RES group was significantly lower than that in CON group (P<0.05); average daily gain in RES group was significantly lower than that in CON group during 2 to 8 weeks of age (P<0.01), whereas feed to gain ratio was significantly higher (P<0.05); no significant differences were found in

average daily gain and feed to gain ratio between two groups during 9 to 12 weeks of age (*P*>0.05). 2) Live body weight before slaughter, empty body weight, carcass weight of 8-week-old lambs in RES group were significantly lower than those in CON group (*P*<0.05), but no significant difference was found in dressing percentage between two groups (*P*>0.05); no significant differences were observed in live body weight before slaughter, empty body weight, carcass weight, and dressing percentage between groups at 12 weeks of age (*P*>0.05). 3) No significant differences were observed in weights and percentages of live body weight before slaughter of visceral organs between groups at 8 and 12 weeks of age (*P*>0.05). 4) No significant differences were observed in gastrointestinal tract indexes between groups at 8 and 12 weeks of age (*P*>0.05) except rumen weight at 8 weeks of age, which was significantly lower in RES group than in CON group (*P*<0.05). In conclusion, dietary restriction of Met level results in decreased rumen weight, growth performance and slaughter performance of lambs, but subsequent recoveries of growth performance and visceral organ development appear after the compensation of dietary Met level.

Key words： lamb； methionine restriction； methionine compensation； growth performance； visceral organ development